



Windrosen für das Fürstentum Liechtenstein

Erstellung von Windrosen – zwecks Ermittlung der Windeinwirkung auf die Windschutzgehölze im Liechtensteiner Talraum

Auftraggeber:
Amt für Umwelt
Abteilung Wald und Landschaft
FL-9490 Vaduz



Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	3
2 Messstandorte.....	3
3 Datenaufbereitung.....	4
3.1 Korrektur Windstärke.....	4
3.2 Korrektur Windspitzen.....	5
4 Windrosen.....	5
4.1 Windrose Vaduz.....	6
4.2 Windrose Ruggell DTN.....	7
4.3 Windrose Ruggeller Riet SGL.....	8
4.4 Windrose Schaan DTN.....	9
4.5 Windrose Balzers DTN.....	10
4.6 Windrose Triesen Obera Hälos SGL.....	11
4.7 Windrose Balzers Neugüeter SGL.....	12
4.8 Windrose Balzers Fläscher Riet SGL.....	13
5 Höchste Windspitzen 2011 – 2020.....	14
5.1 Windspitzenwerte Vaduz.....	14
5.2 Windspitzenwerte Ruggell DTN.....	15
5.3 Windspitzenwerte Schaan DTN.....	15
5.4 Windspitzenwerte Balzers DTN.....	16
5.5 Auswahl und Beschreibung von prominenten Windlagen.....	17
5.6 Windspitzen an den SGL-Stationen.....	17
6 Anhang.....	18
6.1 Fachbegriffe.....	18
6.2 Literatur.....	18

1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wurden die durchschnittlichen Windverhältnisse an 8 verschiedenen Standorten im Liechtensteiner Talraum anhand von Windrosen dargestellt. An 4 der 8 Standorte wurden zusätzlich die über einen Zeitraum von 10 Jahren ermittelten 10 höchsten Tageswindspitzen und die dazugehörigen Windlagen aufgelistet und kommentiert.

Die durchschnittlichen an einem Standort gemessenen Windrichtungen orientieren sich im Allgemeinen an der lokalen Ausrichtung der Talachse des Alpenrheintals. Lokal werden die Hauptwindrichtungen jedoch durch markante Hindernisse wie den Fläscherberg oder den Schellenberg vorgegeben.

Mit Ausnahme der Station Ruggell wurden die höchsten Windspitzen praktisch allesamt durch Föhn verursacht. D.h. die stärksten Windeinwirkungen sind für die Gebiete rund um Schaan und weiter südwärts Richtung Balzers aus der lokalen Föhnrichtung zu erwarten. Für das Gebiet im Dreieck zwischen Schaan, Eschen und Nendeln fehlen leider längere Windmessungen. Aufgrund der Resultate an der Station Ruggell ist jedoch davon auszugehen, dass auch in diesem Dreieck der Föhn eine massgebliche Rolle bei den höchsten Windspitzen spielt. An der Station Ruggell dagegen wurden die drei höchsten Windspitzen durch Weststürme verursacht, die via Toggenburg das Rheintal erreichten. In Ruggell sind die stärksten Windeinwirkungen aus Richtung Südwesten zu erwarten.

2 Messstandorte

Für die vorliegende Studie wurden Windmessreihen von 8 verschiedenen Messtationen im Liechtensteiner Talraum verwendet. Tabelle 1 fasst die Angaben für die Referenzstation Vaduz der MeteoSchweiz, die Messstandorte der DTN (vormals: Meteogroup) und der Solargenossenschaft Liechtenstein (SGL) zusammen.

Standort	Stations-abkürzung	CH-Koordinaten	Messhöhe m ü. Grund	Höhe m ü.M.	Untersuchungs- periode	Stationsbetreiber
Vaduz	vad	2'757'718 / 1'221'696	13.5	457	01.01.11 – 31.12.20	MeteoSchweiz
Ruggell	rmg	2'757'860 / 1'234'175	15	433	01.08.11 – 31.12.20	DTN, Appenzell
Schaan	smg	2'756'912 / 1'225'851	10	456	01.06.11 – 31.12.20	DTN, Appenzell
Balzers	bmj	2'757'525 / 1'216'270	6	471	01.01.11 – 31.12.20	DTN, Appenzell
Neugüeter	bal	2'754'707 / 1'213'783	27.9	488	01.04.08 – 31.03.09	Solargenossenschaft
Obera Hälos	tri	2'757'695 / 1'216'944	27.9	474	01.04.09 – 31.03.10	Solargenossenschaft
Fläscher Riet	flr	2'757'270 / 1'213'770	30.0	483	01.06.10 – 31.10.11	Solargenossenschaft
Ruggeller Riet	rgr	2'759'440 / 1'234'910	10.4	430	01.04.12 – 30.06.13	Solargenossenschaft

Tabelle 1: Angaben zu den verwendeten Windmessstationen in Liechtenstein. Die Stationsabkürzungen wurden für die eindeutige Kennzeichnung der resultierenden Windrosen verwendet.

Die meteorologische Standardmesshöhe für Windmessungen beträgt weltweit generell 10 Meter über Grund. Aufgrund der zahlreichen Hindernisse wie Häuser oder Bäume wurde für die Station Vaduz für das frühere ANETZ bis im Jahr 2005 eine etwas höhere Messhöhe von 13.5 Meter verwendet. Einige der Windmessstationen der Solargenossenschaft haben für die Erkundung der Windverhältnisse für Windkraftanlagen erst ab knapp 30 Meter über Grund den Wind gemessen. In Balzers befindet sich der

Windmesser geschätzte 6 Meter über dem Dach des Werkhofs. In der vorliegenden Studie musste darauf verzichtet werden, die Windmessungen auf eine einheitliche Höhe über Grund zu extrapolieren, da dies vor allem für die Extrapolation der Windspitzen mit zu grossen Unsicherheiten verbunden ist aufgrund der lokalen Begebenheiten wie etwa Bebauung und Baumbewuchs.

3 Datenaufbereitung

Die Messdaten der 3 DTN – Stationen Ruggell, Schaan und Balzers wurden zuerst auf ihre Homogenität geprüft. Das heisst es wurde im Vergleich mit den bereits geprüften Windreihen der Windstärke und der Windspitzen der Referenzstation Vaduz überprüft, ob die Windreihen an den DTN-Stationen Unregelmässigkeiten aufweisen, welche in der Regel durch Instrumenten- und/oder Standortwechsel der Messstationen verursacht werden. Für die Überprüfung der Windreihen wurde dasselbe statistische Testverfahren verwendet, wie es an der MeteoSchweiz meist für die Bearbeitung von Klimareihen eingesetzt wird: der *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT) von Alexandersson und Moberg (1996) (siehe Literaturhinweis im Kap. 6.2).

Zuerst werden aus den Stundenmittelwerten Monatsmittelwerte berechnet und jeweils eine Monatsmittelreihe einer DTN-Station mit der Monatsmittelreihe der Referenzstation Vaduz verglichen. Der SNHT-Test vermag statistisch signifikante Unregelmässigkeiten in der DTN-Messreihe zu finden. Die Unregelmässigkeiten werden anschliessend korrigiert, indem auf die ursprünglichen Stundenmittelwerte ein Korrekturfaktor angewandt wird, d.h. die Stundenmittelwerte werden durch den Korrekturfaktor entweder vergrössert oder verkleinert.

3.1 Korrektur Windstärke

DTN-Station	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff
Ruggell	03.2017 – 03.2019	0.75	04.2019 – 12.2020	1.78	-	-
Schaan	11.2011 – 03.2012	1.90	05.2018 – 05.2020	1.50	06.2020 – 12.2020	1.85
Balzers	01.2011 – 09.2013	1.12	-	-	-	-

Tabelle 2: Faktoren für Korrektur der Windstärke ff an den DTN-Stationen (siehe Tab. 1) im Vergleich zur Referenzstation Vaduz

Die Messreihe Balzers DTN zeigte die geringsten Abweichungen zur Messreihe Vaduz. Die Messwerte mussten lediglich zu Beginn des Untersuchungszeitraums von Januar 2011 bis September 2013 um 12% angehoben werden.

Insgesamt zwei Korrekturen waren für die Messreihe Ruggell DTN notwendig. Der markanteste Eingriff erfolgte im Frühling 2019, als die Messstation von einem Kandelaber des Sportplatzes an einen Standort in der Nähe versetzt wurde. Dabei wurden gleichzeitig nicht nur der Messort, sondern auch die Messhöhe über Grund und sogar der Typ des Messinstruments geändert. All diese Eingriffe führten zu einer massiven Reduktion der gemessenen Windstärke am neuen Standort, was ein starkes Anheben der Messreihe um 78% gegenüber der Messreihe Vaduz notwendig machte. Umgekehrt überschätzte die Messung in Ruggell die Windspitzen zwischen März 2017 und März 2019 deutlich, was eine

Absenkung der Windspitzenreihe um 25% bedingte. Die Ursache dafür ist nicht bekannt.

Die Messreihe Schaan schliesslich wies drei Perioden auf, für welche eine Korrektur angebracht werden musste. Vor allem im Winter 2011 – 2012 wurde die Windstärke massiv unterschätzt. Ab Mai 2018 mussten die Messwerte zwischen 50% und ab Juni 2020 sogar um 85% angehoben werden. Gemäss Auskunft von Herrn Keller, der bei DTN Appenzell für den Unterhalt des Wettermessnetzes in Liechtenstein zuständig ist, unterschätzen manche der eingesetzten Davies-Windmesser altersbedingt die Windstärke deutlich, wenn die Windmesser bei schwachen Winden erst später beginnen zu drehen, d.h. die Anlaufgeschwindigkeit nimmt oft mit der Alterung des Messinstruments zu. Als Sofortmassnahme wurde der Windmessgeber in Schaan Anfang Juli 2021 durch ein neues Gerät ersetzt.

3.2 Korrektur Windspitzen

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der von Inhomogenitäten betroffenen Zeitperioden und die entsprechenden Korrekturfaktoren, um die Inhomogenitäten in den Reihen der Windspitzen im Vergleich zur Vaduzer Reihe zu beheben. Detailliertere Angaben zu den einzelnen Unregelmässigkeiten an den jeweiligen DTN-Stationen sind im Kap. 3.1 beschrieben.

DTN-Station	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff_x	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff_x	Korrekturperiode	Korrekturfaktor ff_x
Ruggell	03.2017 – 03.2019	0.85	04.2019 – 12.2020	1.38	-	-
Schaan	11.2011 – 03.2012	1.62	05.2018 – 05.2020	1.13	06.2020 – 12.2020	1.22
Balzers	01.2011 – 09.2013	1.05	-	-	-	-

Tabelle 3: Faktoren für Korrektur der Windspitzen an den DTN-Stationen (siehe Tab. 1) im Vergleich zur Referenzstation Vaduz

4 Windrosen

Für die langfristige Planung der Windschutzgehölze im Liechtensteiner Talraum wurden die Windrosen für alle Stationen in Tab. 1 für die angegebenen Untersuchungsperioden berechnet. Eine Windrose gibt an, aus welcher Richtung der Wind mit welcher Stärke wie häufig innerhalb eines längeren Zeitraums geblasen hat. Dargestellt werden mit verschiedenen Farben die verschiedenen Windstärkeklassen, abgestuft in 2 Meter pro Sekunde (m/s) – Schritten. Mit hellviolett werden die Windstärken grösser als 10 m/s, respektive grösser als 36 km/h, angezeigt. Der Flächenanteil der verschiedenen Farben ist proportional zur Häufigkeit einer bestimmten Windstärke. Das heisst, je grösser die Farbfläche einer bestimmten Windstärkeklasse ist, desto häufiger hat der Wind innerhalb dieser Stärkeklasse geblasen. Die konzentrischen Kreise innerhalb der Windrose geben an, wie häufig der Wind aus einem bestimmten Windrichtungssektor geblasen hat. Die Angabe erfolgt in Prozent.

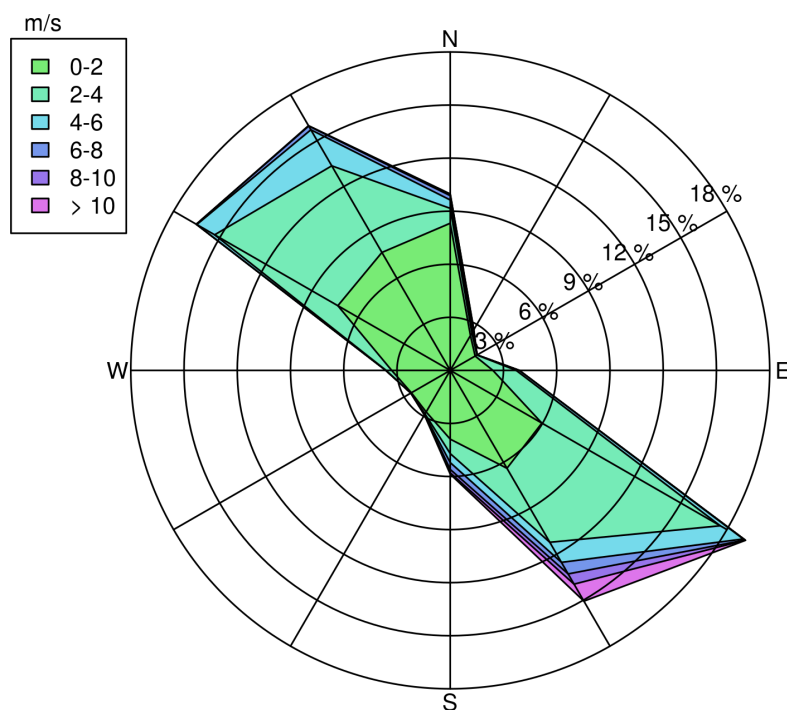
Da die Messwerte der Windrichtung für die DTN-Stationen Schaan und Ruggell aus messtechnischen Gründen leider nur in 25°-Schritten zur Verfügung stehen, werden die Windrosen für alle Stationen einheitlich jeweils in 12 Sektoren à 30° eingeteilt. D.h. jeder der vier Quadranten der Windrose weist 3 Sektoren auf. Ansonsten orientiert sich die Darstellung an der Abbildung 16, Seite 17, im Bericht «Projekt LIDAR-Windmessung LKW» (Sunergy GmbH, 2012).

4.1 Windrose Vaduz

Für die Referenzstation Vaduz ist eine offizielle Windrose der MeteoSchweiz für den Zeitraum 1981 – 2000 über die Webseite von MeteoSchweiz abrufbar (siehe Kap. 6.2). Zu beachten ist, dass diese Windrose in 36 Sektoren à 10° eingeteilt ist, und nur 3 verschiedene Windstärkeklassen aufweist. Zusätzlich sind dank dem langen Auswertzeitraum von 20 Jahren auch die mittleren monatlichen Windrosen für Januar bis Dezember angegeben. Die monatlichen Windrosen zeigen die saisonalen Unterschiede in den Häufigkeiten der verschiedenen Windlagen an. Beispielsweise fällt für den Monat April auf, dass die starken Süd-Südostwinde (Föhn) deutlich häufiger auftreten als in den anderen Monaten. Der April ist im Alpenrheintal der föhnreichste Monat.

Zurück zur mittleren Windrose über den gesamten Zeitraum 1981 – 2000: die häufigsten Windrichtungen in Vaduz sind Nord-Nordwest (NNW, 330° - 340°) und Südost (SO, 150°). Das heisst die häufigsten Windrichtungen laufen in etwa parallel zu den Talflanken im Talabschnitt zwischen Vaduz und Sevelen.

Windrose (Mittel: 2.16 m/s) Vaduz 460m ü.M.



01.2011-12.2020, Messhöhe: 13.5m

Abbildung 1: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Vaduz geblasen hat auf 13.5m über Grund und Mittelwert der Windstärke von 2011 – 2020

Abb. 1 zeigt die Windrose Vaduz mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum 2011 – 2020. Am häufigsten haben die Winde aus Nordwesten und aus Südosten geblasen. Starke Winde (violette und hellviolette Farben) bliesen jedoch fast ausschliesslich aus Richtung Süd-Südost: das ist der Föhn!

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen in Vaduz ist in Tab. 4 zusammengefasst. Mit 54.4% mit Abstand am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s

(7.2 km/h) Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s wurden praktisch ausschliesslich durch Föhn verursacht, wie die Windrose für Vaduz zeigt.

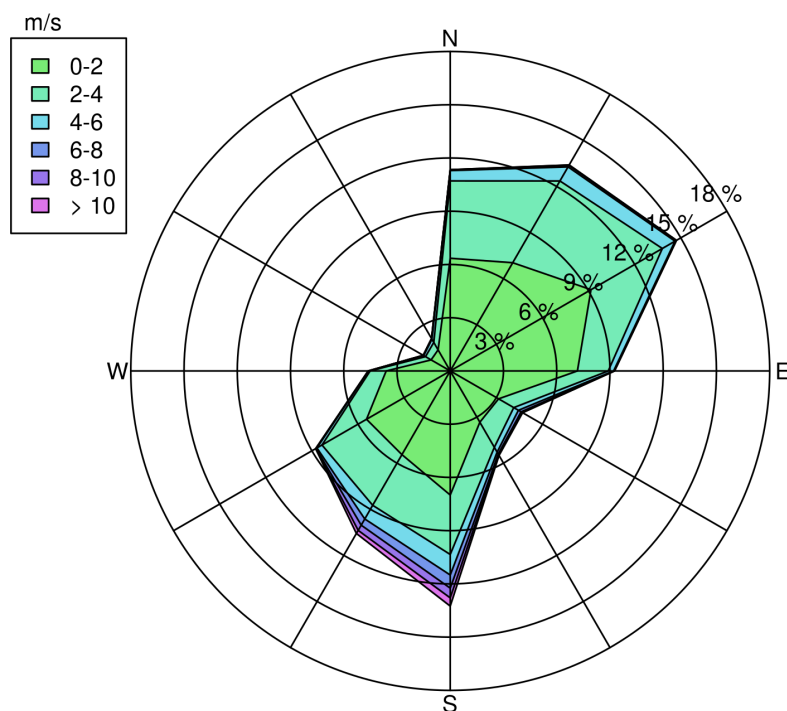
Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	54.41	33.83	7.65	1.88	1.00	1.23

Tabelle 4: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Referenzstation Vaduz

4.2 Windrose Ruggell DTN

Abb. 2 zeigt die Windrose Ruggell mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum 2011 –

Windrose (Mittel: 1.67 m/s) Ruggell FL Meteogroup 433m ü.M.



08.2011-12.2020, Messhöhe: 15m

Abbildung 2: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Ruggell geblasen hat auf 15m über Grund und Mittelwert der Windstärke von 2011 – 2020

2020. Im Gegensatz zu Vaduz haben die Winde in Ruggell am häufigsten aus Richtung Nordosten und aus Richtung Süden geblasen. Starke Winde (violette und hellviolette Farben) bliesen wiederum fast ausschliesslich aus Richtung Süd bis Südwest. Starke Winde aus Richtung Süd wurden vorwiegend vom Föhn verursacht. Bei starken Winden aus Richtung Südwest spielen auch Weststürme und starke Gewitterböen eine Rolle, wie die Auswertung der höchsten Windspitzen im Untersuchungszeitraum in Kap. 5.2 zeigt. Starke Westwinde, die über das obere Toggenburg ins Rheintal vordringen, werden zwischen dem Schellenberg und der westlichen Talflanke des Alpenrheintals kanalisiert und treffen entsprechend aus Richtung Südwest auf die Station Ruggell.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen in Ruggell ist in Tab. 5 zusammengefasst. Mit über 60% am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s

Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s wurden durch Föhn oder starke Westwinde aus dem Toggenburg verursacht, wie die Windrose für Ruggell zeigt.

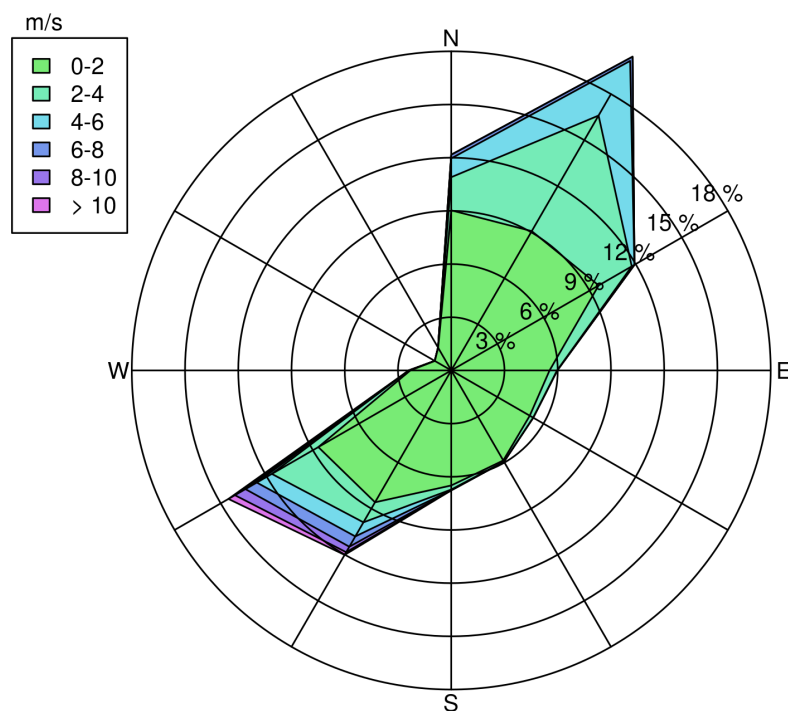
Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	60.31	29.97	6.03	1.85	1.10	0.74

Tabelle 5: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Ruggell DTN

4.3 Windrose Ruggeller Riet SGL

Abb. 3 zeigt die Windrose der Windenergiemessung Ruggeller Riet der Solargenossenschaft

Windrose (Mittel: 1.61 m/s) Ruggell/Schellenberg Riet 430m ü.M.



04.2012-06.2013, Messhöhe: 10.4m

Abbildung 3: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke im Ruggeller Riet geblasen hat auf 10m über Grund und Mittelwert der Windstärke von April 2012 – Juni 2013

Liechtenstein mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum April 2012 – Juni 2013. Im Gegensatz zur Station Ruggell, die sich mitten im Dorf befindet, zeigen die Winde im Ruggeller Riet mehr Winde aus Richtung West-/Südwest. Hier zeigt sich der verstärkte Einfluss des Schellenbergs, der die Windströmung aus südlichen Richtungen noch stärker nach Westen ablenkt. Wie an der Station Ruggell wurden starke Winde aus Richtung Südwest vorwiegend vom Föhn verursacht. Aber auch Weststürme und starke Gewitterböen spielten eine Rolle.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen im Ruggeller Riet ist in Tab. 6 zusammengefasst. Mit über 72% mit Abstand am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s wurden durch Föhn oder starke Westwinde aus dem Toggenburg verursacht, wie die Windrose für das Ruggeller Riet zeigt.

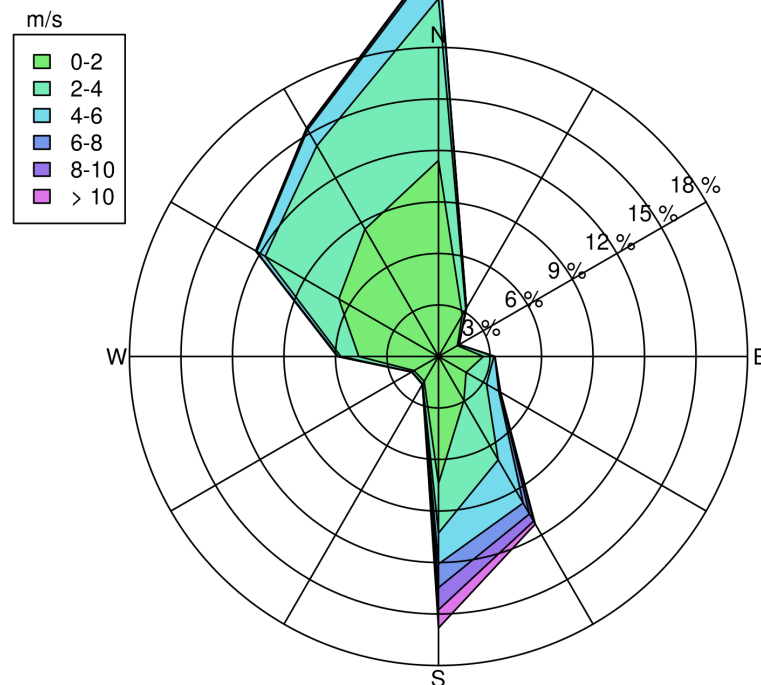
Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	72.78	16.93	6.75	1.89	1.05	0.60

Tabelle 6: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Ruggeller Riet SGL

4.4 Windrose Schaan DTN

Abb. 4 zeigt die Windrose Schaan mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum 2011 –

Windrose (Mittel: 2.04 m/s) Schaan FL Meteogroup 456m ü.M.



06.2011-12.2020, Messhöhe: 10m

Abbildung 4: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Schaan geblasen hat auf 10m über Grund und Mittelwert der Windstärke von 2011 – 2020

2020. Die Winde an der Station Schaan haben am häufigsten aus Richtung Norden und aus Richtung Süden geblasen. D.h. die Ausrichtung der Windrose entspricht sehr gut der Ausrichtung der Talachse im Raum Schaan – Buchs, welche ebenfalls Nord-Süd ausgerichtet ist. Starke Winde (violette und hellviolette Farben) bliesen wiederum fast ausschliesslich aus Richtung Süd bis Süd-Südost. Starke Winde aus diesen Richtungen wurden wiederum vorwiegend vom Föhn verursacht. Auffallend ist die starke Streuung der Windrichtungen von Nordwest bis Nord. Ein Teil der gemessenen Winde dürfte vom oberen Toggenburg über das Werdenberg auf die Station Schaan getroffen sein.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen in Schaan ist in Tab. 7 zusammengefasst. Mit über 53% am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s wurden meist durch Föhn verursacht, wie die Windrose für Schaan zeigt.

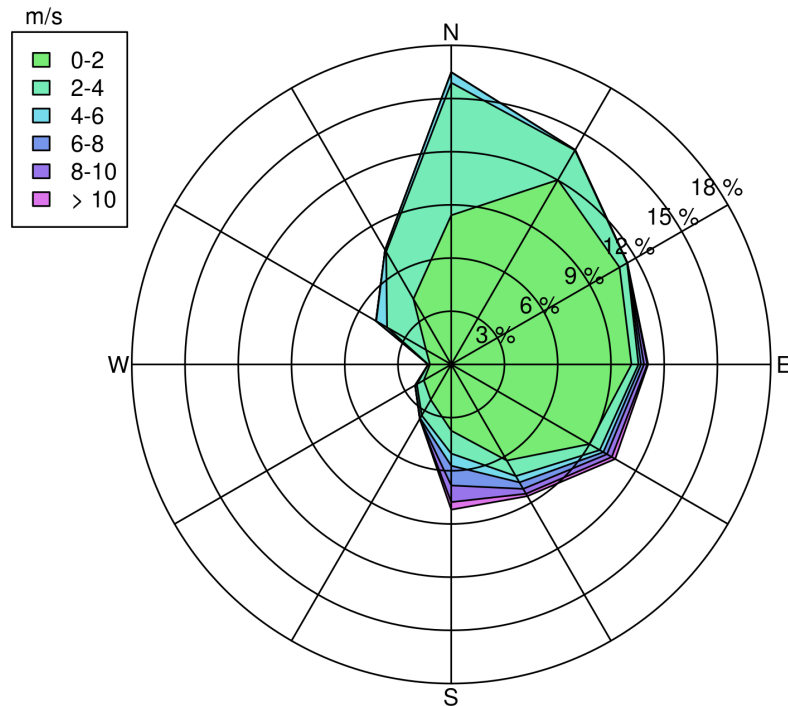
Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	53.51	30.73	9.90	2.61	1.97	1.28

Tabelle 7: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Schaan DTN

4.5 Windrose Balzers DTN

Abb. 5 zeigt die Windrose Balzers mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum 2011 –

Windrose (Mittel: 1.55 m/s) Balzers FL Meteogroup 471m ü.M.



01.2011-12.2020, Messhöhe: 6m

Abbildung 5: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Balzers geblasen hat auf 6m über Dach und Mittelwert der Windstärke von 2011 – 2020

2020. Die Winde an der Station Balzers auf dem Dach des Werkhofs in Balzers zeigen im Gegensatz zur LKW-Windstudie im Raum Balzers (Sunergy GmbH, 2012) kein eindeutiges Bild bezüglich der Windrichtungen. Sehr wahrscheinlich wird die Windrichtungsmessung in Balzers stark durch die nahestehenden Bäume beeinflusst, die ca. 20 Meter vom Messmasten entfernt in südwestlicher bis nordöstlicher Richtung stehen. Darauf deuten auch der niedrige langjährige Mittelwert von 1.55 m/s und der sehr hohe Anteil von über 71% in der tiefsten Windstärkeklasse 0 – 2 m/s in Tab. 8 hin. Es wird deshalb empfohlen, für die Region rund um Balzers anstelle der in Abb. 5 gezeigten Windrose der DTN-Station die Windrosen auf Seite 17 aus der LKW-Windstudie (Sunergy GmbH, 2012) als repräsentativ für die Planung der Windschutzgehölze in der Region Balzers zu verwenden.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen in Balzers ist in Tab. 8 zusammengefasst. Mit über 71% am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s werden in Balzers ausschliesslich durch

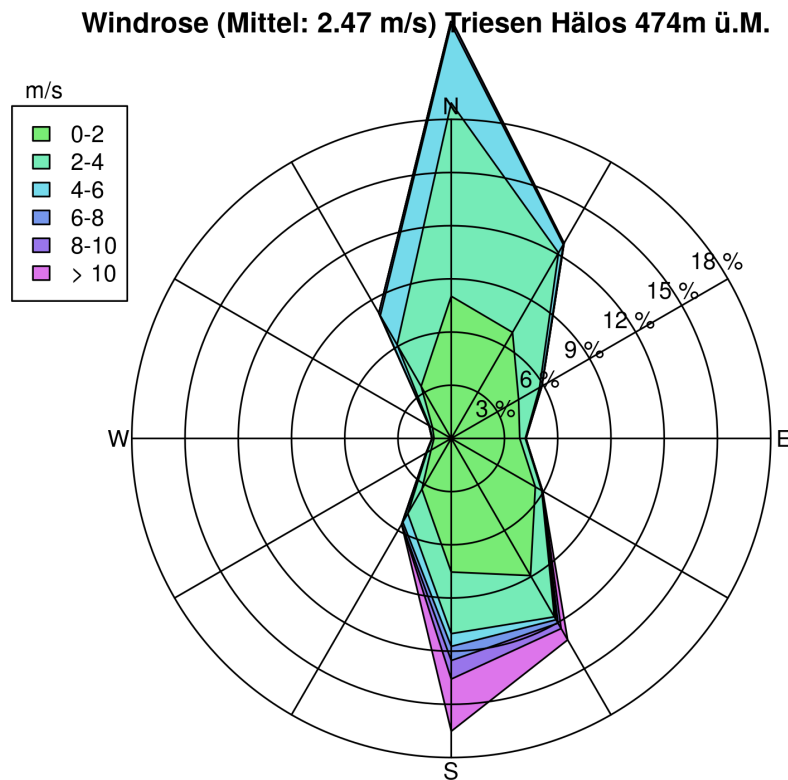
Föhn aus Richtung Süd bis Südost verursacht, wie die Windrose für Balzers zeigt.

Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	71.72	20.44	3.22	2.01	1.76	0.86

Tabelle 8: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Balzers DTN

4.6 Windrose Triesen Obera Hälos SGL

Abb. 6 zeigt die Windrose der Windenergiemessung Triesen Obera Hälos der Solargenossenschaft



04.2009-03.2010, Messhöhe: 27.9m

Abbildung 6: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Triesen Obera Hälos geblasen hat auf 28m über Grund und Mittelwert der Windstärke von April 2009 – März 2010

Liechtenstein mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum April 2009 – März 2010. Im Gegensatz zur Station Balzers DTN, die sich am Nordrand vom Dorf Balzers befindet, zeigen die Winde im Obera Hälos eine klare Nord-/Südausrichtung. Starke Winde wehten fast ausschliesslich aus Richtung Süd-Südost und wurden durch Föhn verursacht.

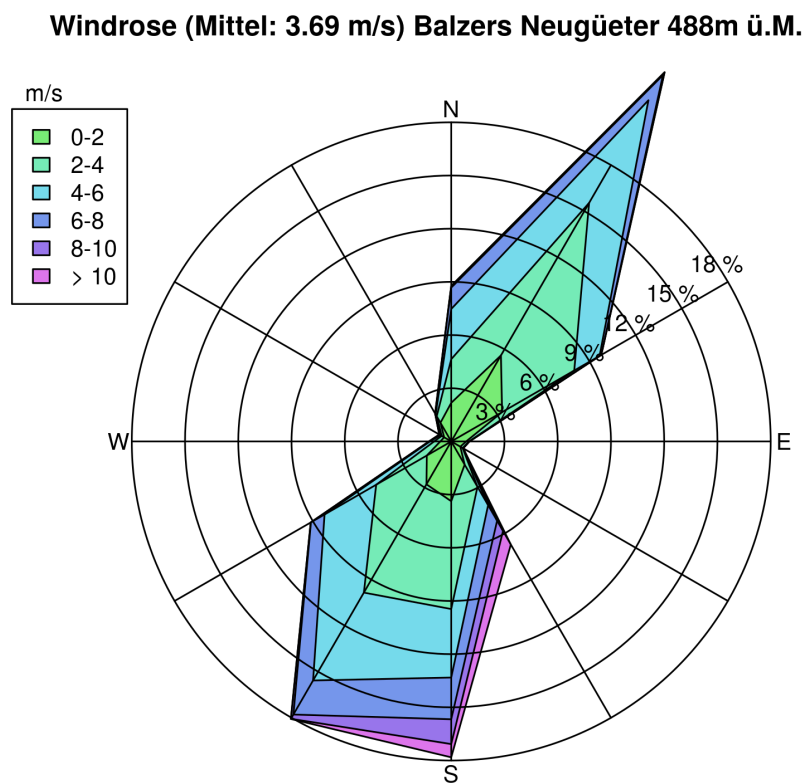
Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen im Obera Hälos ist in Tab. 9 zusammengefasst. Mit über 55% am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 6 m/s wurden durch den Föhn verursacht, wie die Windrose für den Obera Hälos zeigt.

Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	55.31	29.18	8.65	1.70	1.46	3.70

Tabelle 9: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Triesen Obera Hälos SGL

4.7 Windrose Balzers Neugüeter SGL

Abb. 7 zeigt die Windrose der Windenergiemessung Balzers Neugüeter der Solargenossenschaft



04.2008-03.2009, Messhöhe: 27.9m

Abbildung 7: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Balzers Neugüeter geblasen hat auf 28m über Grund und Mittelwert der Windstärke von April 2008 – März 2009

Liechtenstein mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum April 2008 – März 2009. Die Gegend zwischen Ellhorn und Schollberg präsentiert sich von den Windverhältnissen her deutlich verschieden von allen anderen in diesem Bericht vorgestellten Windmessungen in Liechtenstein. Die Hauptwindrichtungen sind Nord-Nordost und Süd-Südwest. Am Standort wurden starke Winde ab 6 m/s auch öfters aus nördlicher Richtung registriert, was bei allen anderen Stationen nicht der Fall war. Windschwache Perioden sind im Gegensatz zu den anderen Stationen in der Minderzahl.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen im Balzers Neugüeter ist in Tab. 10 zusammengefasst. Mit 24% sind schwache Winde mit weniger als 2 m/s deutlich weniger häufig als Winde mit 2 m/s – 4 m/s, und sogar etwas weniger häufig als Winde zwischen 4 m/s – 6 m/s, was für den Liechtensteiner Talraum einzigartig ist. Starke Winde ab 8 m/s wurden durch Föhn aus südlicher Richtung verursacht, wie die Windrose für das Neugüeter zeigt. Sehr starke Winde ab 10 m/s

sind im Neugüeter jedoch seltener als im Obera Hälos (Tab. 9) oder im Fläscher Riet (Tab. 11).

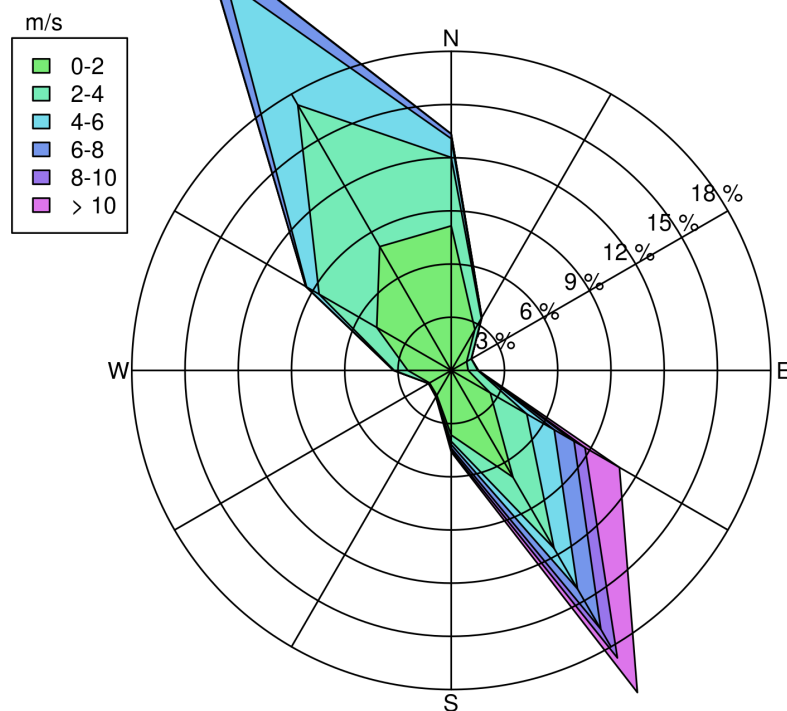
Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	24.08	36.20	25.80	9.56	2.68	1.67

Tabelle 10: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Balzers Neugüeter SGL

4.8 Windrose Balzers Fläscher Riet SGL

Abb. 8 zeigt die Windrose der Windenergiemessung Balzers Fläscher Riet der Solargenossenschaft

Windrose (Mittel: 3.31 m/s) Balzers Fläscher Riet 482.8m ü.M.



06.2010-10.2011, Messhöhe: 30m

Abbildung 8: Prozentuale Häufigkeit, woher der Wind mit welcher Windstärke in Balzers Fläscher Riet geblasen hat auf 30m über Grund und Mittelwert der Windstärke von Juni 2010 – Oktober 2011

Liechtenstein mit 12 Sektoren und mit 6 Windstärkeklassen für den Zeitraum Juni 2010 – Oktober 2011. Die Windströmung ist aufgrund des engen Talausgangs aus Richtung St. Luziensteig stark kanalisiert und die Hauptwindrichtungen sind Nord-Nordwest und Süd-Südost, also parallel zu den Talflanken. Sehr starke Winde werden wie an den übrigen Stationen im Liechtensteiner Talraum durch den Föhn verursacht, im Fläscher Riet aus Richtung Süd-Südost.

Die prozentuale Verteilung der Windstärken auf die verschiedenen Stärkeklassen im Fläscher Riet ist in Tab. 11 zusammengefasst. Mit über 44% am häufigsten wurden schwache Winde mit weniger als 2 m/s (7.2 km/h) Windstärke gemessen. Die seltenen, starken Winde ab 8 m/s wurden durch Föhn verursacht, wie die Windrose für das Fläscher Riet zeigt. Von allen untersuchten Stationen im Liechtensteiner Talraum ist der Anteil von sehr starken Winden über 10 m/s mit knapp 4.6% am höchsten. Das bedeutet,



dass in Balzers der Föhn am stärksten bläst von allen untersuchten Stationen in diesem Bericht.

Windstärkeklassen in m/s	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
%-Anteil	44.31	26.68	14.72	6.92	2.79	4.59

Tabelle 11: Prozentuale Häufigkeit der verschiedenen Windstärken an der Station Balzers Fläscher Riet SGL

5 Höchste Windspitzen 2011 – 2020

Für die langfristige Planung der Windschutzgehölze sind für jeden Standort die zu erwartenden maximalen Windspitzen von besonderem Interesse. Im vorliegenden Bericht wurden für die Referenzstation Vaduz und für die 3 DTN-Stationen (siehe Tab. 1) jeweils die zehn Tage mit den höchsten Tageswindspitzen aus der Messperiode 2011 – 2020 ermittelt. Die dazugehörigen Windspitzenwerte und Windlagen werden in den folgenden Unterkapiteln separat für jede Station aufgeführt und diskutiert. Die Zeitangaben in Stunden (HH) und Minuten (MM) sind jeweils in UTC angegeben (siehe Kap. 6.1). Die meisten der Windlagen sind farbig hervorgehoben und werden im Kap. 5.5 näher erläutert.

In einem weiteren Unterkapitel (Kap. 5.6) wird noch kurz auf die wichtigsten Sturmlagen während den Untersuchungsperioden der Windenergiemessungen der Solargenossenschaft Liechtenstein eingegangen.

5.1 Windspitzenwerte Vaduz

Die höchsten Windspitzen in Vaduz wurden fast allesamt während Föhnstürmen gemessen (Wind aus Richtung Süd-Südost zwischen 156° und 172°). Einzige Ausnahme bildete der Weststurm Sabine vom 10. auf den 11. Februar 2020 mit einer Windspitze von knapp 134 km/h aus Richtung Nord-Nordost (18°) am 11. Februar kurz nach Mitternacht. Auffallend auch die verhältnismässig geringe Windstärke von 42.5 km/h. Das heisst die erwähnte Windböe hat plötzlich eingesetzt.

Datum	HH	MM	ffx [m/s]	ff [m/s]	ffx[km/h]	ff[km/h]	DD [Grad]
2014-02-10	9	30	44.4	21.9	159.8	78.8	171
2013-12-24	23	0	43.3	24.2	155.9	87.1	171
2013-12-25	0	10	41.6	25.8	149.8	92.9	172
2012-04-29	6	20	39	17.6	140.4	63.4	169
2014-11-04	14	10	38.3	19.4	137.9	69.8	166
2019-12-20	8	0	37.9	19	136.4	68.4	156
2020-02-11	0	20	37.2	11.8	133.9	42.5	18
2014-11-03	20	20	36.7	18.2	132.1	65.5	161
2012-04-28	23	40	36.1	23.1	130	83.2	166
2018-10-30	3	10	35.5	17.9	127.8	64.4	163

Abbildung 9: Die 10 höchsten Windspitzen ffx und deren Windstärke ff und Windrichtung DD an der Station Vaduz zwischen 2011 und 2020

Die höchste Windspitze wurde während eines Föhnsturms im Zuge vom Tief Stephanie am 10. Februar 2014 registriert mit knapp 160 km/h. Zum Vergleich: der verheerende Winterorkan Lothar am 26. Dezember 1999 erreichte um 12:10 UTC eine Windspitze von 45.9 m/s, resp. 165.2 km/h. Heftige

Föhnstürme können also in der Region Vaduz zu ähnlich hohen Windspitzen führen wie die stärksten Orkanböen durch Weststürme im Winterhalbjahr. Der Spitzenwert am 10. Februar 2014 ist jedoch mit Vorbehalt zu betrachten, da es sich um einen einzelnen Zehnminutenwert handelte, der innerhalb derselben Stunde über 40 m/s angezeigt hat. Eventuell könnte der Messwert also wegen einem Messfehler überschätzt worden sein. Mit Sicherheit realistisch waren dagegen die sehr hohen Messwerte des markantesten Föhnereignisses in Vaduz im Untersuchungszeitraum: der Weihnachtsföhnsturm im 2013 lieferte in der Nacht vom 24. auf den 25. Dezember 2013 insgesamt 8 Zehnminutenwerte mit Windspitzen von über 40 m/s, resp. über 144 km/h! Sehr eindrücklich auch die Windstärke von knapp 93 km/h am 25. Dezember nach Mitternacht.

In der Rangliste der 10. höchsten Windspitzen in Vaduz nicht vertreten sind Windböen verursacht durch starke Gewitter.

5.2 Windspitzenwerte Ruggell DTN

Im Gegensatz zu Vaduz wurden die 3 höchsten Windspitzen in Ruggell allesamt während starken Winterstürmen gemessen (Wind aus Richtung Süd-Südwest mit 220°). Es waren dies das Sturmtief Sabine am 10./11. Februar 2020 und das Sturmtief Burglind am 3. Januar 2018, welches verbreitet für Waldschäden in der Region verantwortlich war. Die weiteren Spitzenwerte ab Rang 4 wurden meist während Föhn registriert mit Ausnahme von starken Gewitterböen am 28. August 2019 mit knapp 112 km/h Windspitze aus Richtung Nordwest (320°).

Datum	HH	MM	ffx [m/s]	ff [m/s]	ffx[km/h]	ff[km/h]	DD [Grad]
2020-02-10	20	30	36	20	129.6	72	200
2020-02-11	1	30	36	11	129.6	39.6	200
2018-01-03	11	30	35	6	126	21.6	200
2020-02-27	19	30	35	16	126	57.6	200
2014-11-04	13	30	32.4	13.4	116.64	48.24	200
2020-02-09	23	30	32	13	115.2	46.8	180
2015-03-31	13	30	31.9	14.9	114.84	53.64	250
2019-08-28	17	30	31	7	111.6	25.2	320
2019-04-24	15	30	30	16	108	57.6	200
2020-02-23	18	30	30	15	108	54	200

Abbildung 10: Die 10 höchsten Windspitzen ffx und deren Windstärke ff und Windrichtung DD an der Station Ruggell DTN zwischen 2011 und 2020

Auffallend ist die grosse Streuung der Windstärken zeitgleich mit dem Eintreten des Windspitzenereignisses: beim Sturm Burglind am 3. Januar 2018 (Rang 3) und bei den Gewitterböen am 28. August 2019 (Rang 8) haben die Windböen praktisch aus dem Stand eingesetzt.

5.3 Windspitzenwerte Schaan DTN

Im Gegensatz zu Vaduz und Ruggell sorgte das Sturmtief Joachim am 16. Dezember 2011 für die mit Abstand höchste Windspitze in Schaan mit knapp 137 km/h, was für die Station im Zentrum von Schaan doch beachtlich hoch ist. Es handelte sich bei diesem Föhnsturm um einen sogenannten Güller-Föhn (Güller, 1976). Dies ist eine Föhnvariante, welche durch nordwestliche Höhenwinde über den Hochalpen (z.B. auf dem Jungfrauoch) gekennzeichnet ist und im Rheintal und in anderen klassischen Föhntälern wie dem Reusstal in Altdorf oft für gefährlich hohe Windspitzen sorgt.

Datum	HH	MM	ffx [m/s]	ff [m/s]	ffx[km/h]	ff[km/h]	DD [Grad]
2011-12-16	10	30	38	21	136.8	75.6	200
2011-11-03	13	30	33	23	118.8	82.8	200
2011-12-02	2	30	33	16	118.8	57.6	180
2018-10-30	3	30	33	17	118.8	61.2	160
2020-10-21	11	30	33	21	118.8	75.6	200
2020-12-27	21	30	31	23	111.6	82.8	180
2019-04-25	18	30	30	15	108	54	180
2019-12-20	7	30	30	18	108	64.8	160
2011-11-04	0	30	29	17	104.4	61.2	200
2020-02-27	14	30	29	15	104.4	54	180

Abbildung 11: Die 10 höchsten Windspitzen ffx und deren Windstärke ff und Windrichtung DD an der Station Schaan DTN zwischen 2011 und 2020

Ebenfalls hervorzuheben ist auf Rang 4 das Sturmtief Vaia am 30. Oktober 2018, welches auf seiner absolut ungewöhnlichen Zugbahn von Norditalien über die Alpen hinweg nach Süddeutschland einen sehr starken Föhnfall im Rheintal ausgelöst hat und auf seiner Zugbahn gewaltige Waldschäden im Trentino, Südtirol und weniger gravierend auch im Appenzellerland hinterliess.

5.4 Windspitzenwerte Balzers DTN

In Balzers noch länger in Erinnerung bleiben dürfte der aussergewöhnliche Föhnsturm am 10. und 11. Dezember 2017 ausgelöst durch das Sturmtief Xanthos. Sehr lokal wurde die Föhnströmung im Raum Balzers extrem beschleunigt. Bei keiner der anderen untersuchten Stationen taucht der 10./11. Dezember 2017 in der Rangliste der 10 höchsten Windspitzen auf. Insbesondere blies der Föhn an der benachbarten Station Vaduz am 10. Dezember 2017 zur selben Zeit mit deutlich geringerer Intensität als in Balzers. Dieser Fall zeigt exemplarisch auf, wie gross die lokalen Unterschiede in den Windspitzen von Föhnsturm zu Föhnsturm sein können.

Datum	HH	MM	ffx [m/s]	ff [m/s]	ffx[km/h]	ff[km/h]	DD [Grad]
2017-12-10	11	30	37.6	14.9	135.4	53.6	190
2018-10-30	1	30	35	8.2	126	29.5	200
2014-02-07	1	30	32.9	13.9	118.4	50	190
2020-02-27	14	30	32.4	12.3	116.6	44.3	200
2011-11-04	3	30	32	10	115.2	36	120
2020-02-29	14	30	31.9	12.9	114.8	46.4	190
2017-12-11	13	30	31.4	8.8	113	31.7	160
2019-03-06	14	30	31.4	11.8	113	42.5	170
2012-12-14	17	30	31	10	111.6	36	130
2013-03-05	0	30	31	12	111.6	43.2	130

Abbildung 12: Die 10 höchsten Windspitzen ffx und deren Windstärke ff und Windrichtung DD an der Station Balzers DTN zwischen 2011 und 2020

Ebenfalls sehr markant in Szene setzte sich in Balzers ähnlich wie in Schaan das Sturmtief Vaia mit Rang 2 der höchsten Windspitzen. Wenig überraschend wurden alle 10 Spitzenwerte in Balzers während Föhnstürmen gemessen. Der Föhn spielt in der Region Balzers ganz klar die Hauptrolle, wenn es um die höchsten Windspitzen geht!

5.5 Auswahl und Beschreibung von prominenten Windlagen

Abb. 13 enthält alle Windlagen, welche zu den höchsten Windspitzen an der Referenzstation Vaduz geführt haben. Zudem sind eine Auswahl weiterer wichtiger Windlagen aufgeführt, die für markante Windspitzen an den drei DTN-Stationen geführt haben.

Datum	Name	Kurzbeschreibung
2011-11-03	Sturmtief Quinn	Föhnsturm
2011-12-16	Sturmtief Joachim	Föhnsturm
2012-04-29	Tief Petra	Föhnsturm
2013-12-24	Orkantief Dirk	Föhnsturm
2014-02-10	Tief Stephanie	Föhnsturm
2014-11-04	Tief Pia	Föhnsturm
2017-12-10	Sturmtief Xanthos	Föhnsturm
2018-01-03	Sturmtief Burglind	Weststurm
2018-10-30	Sturmtief Vaia	Föhnsturm
2019-03-06	Tief Cornelius	Föhnsturm
2019-12-20	Sturmtief Elsa	Föhnsturm
2020-02-11	Sturmtief Sabine	Weststurm
2020-02-29	Sturmtief Charlotte	Föhnsturm

Abbildung 13: Liste der 13 wichtigsten Sturmlagen in Liechtenstein im Untersuchungszeitraum 2011 - 2020

Die Zusammenstellung in Abb. 13 zeigt deutlich, dass der älteste Liechtensteiner – der Föhn – die grosse Mehrheit der Windspitzenwerte im Land im Zeitraum von 2011 bis 2020 verursacht hat. Ausnahmen bildeten einzig die beiden Weststürme Sabine im Februar 2020 und Burglind im Januar 2018, die vor allem an der Station Ruggell für hohe Windspitzen sorgten (1. - 3. Rang). Auch die Station Vaduz war vom Sturm Sabine betroffen (7. Rang), Schaan jedoch erstaunlicherweise nicht. Es ist zu vermuten, dass die Station Schaan innerhalb des Dorfes für Weststürme zu stark durch die umliegenden Gebäude abgeschirmt ist und deshalb bei Weststürmen keine Spitzenwerte misst. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass die Station Schaan nicht repräsentativ ist für die Windverhältnisse in der Ebene zwischen dem Dorf Schaan und Rheindamm. Leider konnte im Zuge der Windenergiemessungen der Solargenossenschaft Liechtenstein von 2008 – 2013 keine Messung in der Nähe vom Dorf Schaan realisiert werden, sodass über die genauen Windverhältnisse im Gebiet zwischen Schaan und dem Rheindamm Richtung Buchs leider wenig bekannt ist.

Interessant ist noch die Tatsache, dass 4 von den ausgewählten 13 Sturmlagen „nur“ normale Tiefdruckgebiete und keine Sturm- oder Orkantiefs gewesen sind. Das heisst im Liechtensteiner Talraum können sehr starke Föhnstürme auch im Zusammenhang mit wenig aussergewöhnlichen Tiefdruckgebieten auftreten.

5.6 Windspitzen an den SGL-Stationen

Die Messperiode an der Station Ruggeller Riet SGL (Kap. 4.3) hat sich mit der Untersuchungsperiode 2011 – 2020 in diesem Bericht überschritten. Die mit Abstand höchste Windspitze wurde während der mehrtägigen Föhnphase im April 2012 am 29. April 2012 um 09.20 UTC mit 95.5 km/h gemessen. Die Messung Fläscher Riet endete im Oktober 2011 und keine der ausgewählten Sturmlagen aus Abb. 13 konnte somit erfasst werden. Die maximale Windspitze wurde am 19. Dezember 2010 um 21.10 UTC während eines Föhnsturms mit 115.1 km/h registriert. An der Station Triesen Obera Hälos (Kap. 4.6) lag



die maximale Windspitze am 27. Februar 2010 ebenfalls während einem Föhnsturm bei immerhin 136.4 km/h. Im Balzers Neugüeter schliesslich lag die maximale Windspitze am 19. Januar 2009 um 15.30 UTC während Föhn bei 113.7 km/h. Somit konnten während keiner der durch die SGL untersuchten Zeitperioden aussergewöhnlich hohe Windspitzen registriert werden.

6 Anhang

6.1 Fachbegriffe

ANETZ:	Automatisches Messnetz der MeteoSchweiz u.a. mit Windmessungen, ca. 1980 - 2005
Windstärke ff:	Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit, Einheit: Meter pro Sekunde (m/s)
Windspitze ffx:	maximaler 1-Sekundenwert der Windgeschwindigkeit innerhalb einer Stunde, wird im Volksmund meist als Windböe bezeichnet, Einheit: Meter pro Sekunde (m/s)
Windrichtung DD:	die Windrichtung gibt an, aus welcher Richtung der Wind weht. Die Einheit ist Grad. Windrichtung Nord: 0°, Windrichtung Ost: 90°, Windrichtung Süd: 180°, Windrichtung West: 270°
Langjährig:	Durchschnittswert über eine Zeitperiode von 20 – 30 Jahren (Klimaperiode)
UTC:	Universal Time Convention. Es gilt für mitteleuropäische Winterzeit MEZ = UTC + 1 Stunde. Es gilt für mitteleuropäische Sommerzeit MESZ = UTC + 2 Stunden.

6.2 Literatur

Alexandersson , H., A. Moberg 1996: Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear Trends. The Department of Physical Geography. Stockholm University. Stockholm. Dissertation Series, 5, 1-15.

Sunergy GmbH, 2012: „Projekt LIDAR-Windmessung LKW“
(http://www.sunergy.li/images/stories/wind/schlussauswertung_lkw-lidar_pw.pdf)

Windrose Vaduz, MeteoSchweiz, 2014: https://www.meteoschweiz.admin.ch/product/output/climate-data/wind-roses-processing/data/windrose_VAD_d.pdf

Güller, 1976: „Der aussergewöhnliche Föhnsturm vom 13. Februar 1976 in der Ostschweiz“
(<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/publikationen.subpage.html/de/data/publications/1977/1/der-aussergewoehnliche-foehnsturm-vom-13--februar-1976-in-der-os.html>)